Атмосферный коэффициент планеты.

Безверхний Владимир Дмитриевич.

Украина, e-mail: bezvold@ukr.net

Минимально возможный размер планеты на которой может поддерживаться жизнь можно посчитать, так как гравитация зависит от массы и радиуса планеты, и удерживает атмосферу. Логично допустить, что планета будет поддерживать жизнь, если сможет удерживать необходимую атмосферу (например, кислород).

Итак, квадрат скорости убегания на поверхности планеты равен:

$$v^2 = (2 * G * m) / r$$

где G - гравитационная постоянная,

m - масса планеты,

r - радиус планеты.

Далее, квадрат средней квадратичной скорости молекул газа равен (примечание: средняя квадратичная скорость всех молекул в газе это квадратный корень из средней арифметической величины квадратов скоростей каждой молекулы):

$$v^2 = (3 * R * T) / M$$

где R - универсальная газовая постоянная,

T – температура,

M - молярная масса (кг/моль).

Теперь допустим, что скорость убегания на поверхности планеты равна средней квадратичной скорости молекул атмосферы. Тогда, получим следующую формулу:

$$(2 * G * m) / r = (3 * R * T) / M$$

Это ключевая формула.

Из данной формулы следует выражение для квадрата радиуса планеты в зависимости от плотности планеты и температуры атмосферы, а также от вида молекул газа:

$$r^2 = (9 * R * T) / (8 * \pi * G * \rho * M)$$

где ρ – плотность планеты.

Для дальнейших рассуждений необходимо ввести понятие про атмосферный коэффициент.

Атмосферный коэффициент (АК, n) – это отношение скорости убегания на данной планете к средней квадратичной скорости молекул атмосферы.

Теоретически должно существовать определенное минимальное значение коэффициента, которое в интегрированном виде учтет все факторы влияющие на сохранение атмосферы планеты (градиент температур от высоты, распределение молекул газа по скоростям, градиент гравитационного поля и т.п.). То есть, при определенном значении атмосферного коэффициента (АК) планета сможет гарантировано сохранять плотную атмосферу подобно Земле.

Ввод атмосферного коэффициента преобразит формулу до вида:

$$r^2 = n^2 * (9 * R * T) / (8 * \pi * G * \rho * M)$$

Учитывая постоянные, получим окончательную формулу для расчета:

$$r^2 = n^2 * 4.46099 * 10^{10} * T / (\rho * M)$$

где n - атмосферный коэффициент, T – температура (˚K),

ρ – плотность планеты, M - молярная масса (кг/моль).

Согласно эмпирическому правилу, принимаем, что минимальный коэффициент при котором планета сохраняет атмосферу равен шести [1].

Важно отметить, что при низких значениях атмосферного коэффициента (6, 8, 10) гравитационное влияние приливных сил будет небольшим, и поэтому, плотная однородная атмосфера будет простираться на довольно значительную высоту и иметь большой объем. А значит, биосфера такой планеты не сможет произвести достаточное количество биогенных газов (например, кислорода), которые должны сначала заполнить атмосферу, и далее принимать участи в круговороте газов на планете. Следовательно, на планетах с низким значением атмосферного коэффициента существование атмосферы возможно (планета может удерживать атмосферу), но биологическая жизнь с высокоорганизованными организмами невозможна.

Если атмосферный коэффициент на планете будет 20 и более, то тогда гравитационное влияние приливных сил планеты на атмосферу будет ощутимым, и как следствие, атмосфера будет прижата к поверхности планеты тонким шаром (как на Земле) и иметь небольшую высоту.

Например, атмосфера Земли простирается вверх на 100 км (АК = 23,13), но 90 % всей атмосферы находится в пределах 16 км от поверхности. Атмосфера Венеры простирается вверх на 250 км (АК = 16,03), но 90 % всей атмосферы находится в пределах 28 км от поверхности [2].

Атмосфера Титана имеет толщину около 400 км [3], конечно, при более низком коэффициенте (АК = 9,14). Учитывая небольшой атмосферный коэффициент, атмосфера Титана должна быть более однородна по высоте, чем атмосфера Земли или Венеры.

При больших атмосферных коэффициентах (АК = 20 и более) биосфера уже сможет кислородом заполнить атмосферу планеты, поскольку тропосфера будет иметь небольшую толщину и содержать 80 – 90 % атмосферы. И далее, с участием биосферы начнет происходить круговорот биогенных газов на планете (кислород, углекислый газ и т.п.), что существенно увеличит скорость эволюции живых систем.

Для сравнения размеров вычислим радиусы планет (по кислороду) в зависимости от плотности планеты и атмосферного коэффициента, допустив при этом, что жизнь будет аналогична земной (кислород, вода, температура и т.п.). Также примем, что температура атмосферы равна 300 ˚K.

1. Определим радиус исходя из плотности Земли (ρ = 5,5153 * 10^3 кг/м^3). Радиус Земли равен 6371,0 км.

Тогда вычисленный радиус планеты равен:

n = 6, r = 1652,22 км;

n = 9,14 (Титан), r = 2516,88 км;

n = 16,03 (Венера), r = 4414,18 км;

n = 23,13 (Земля), r = 6369,31 км.

2. Определим радиус исходя из плотности Венеры (ρ = 5,24 * 10^3 кг/м^3). Радиус Венеры равен 6051,8 км.

Тогда вычисленный радиус планеты равен:

n = 6, r = 1695,07 км;

n = 9,14 (Титан), r = 2582,15 км;

n = 16,03 (Венера), r = 4528,65 км;

n = 23,13 (Земля), r = 6534,48 км.

3. Определим радиус исходя из плотности Марса (ρ = 3,933 * 10^3 кг/м^3). Радиус Марса равен 3389,5 км.

Тогда вычисленный радиус планеты равен:

n = 6, r = 1956,55 км;

n = 9,14 (Титан), r = 2980,47 км;

n = 16,03 (Венера), r = 5227,24 км;

n = 23,13 (Земля), r = 7542,49 км.

4. Определим радиус исходя из плотности Титана (ρ = 1,8798 * 10^3 кг/м^3). Радиус Титана равен 2576 км.

Тогда вычисленный радиус планеты равен:

n = 6, r = 2830,07 км;

n = 9,14 (Титан), r = 4311,13 км;

n = 16,03 (Венера), r = 7560,99 км;

n = 23,13 (Земля), r = 10909,91 км.

5. Определим радиус исходя из плотности Kepler – 10 b (ρ = 8,8 * 10^3 кг/м^3).

Тогда вычисленный радиус планеты равен:

n = 6, r = 1308,01 км;

n = 9,14 (Титан), r = 1992,54 км;

n = 16,03 (Венера), r = 3494,57 км;

n = 23,13 (Земля), r = 5042,38 км.

Таким образом, минимальный радиус планеты (n = 6), которая сможет удерживать атмосферу при комфортной температуре (300 ˚K), будет находится в пределах 1308,01 - 2830,07 км, то есть, в пределах 0,75 – 1,63 радиуса Луны (1737,1 км).

При большом атмосферном коэффициенте (n = 23,13; Земля) радиус планеты будет находится в пределах 5042,38 - 10909,91 км, то есть, в пределах 0,79 – 1,71 радиуса Земли (6371 км).

Теперь дополнительно для наглядности проведем небольшой расчет.

Учитывая, что атмосфера Титана состоит из азота (98,4 %) и метана (1,6 %), а температура поверхности равна 93,7 ˚K (−179,5 °C), вычислим радиус Титана по азоту при разных атмосферных коэффициентах при температуре 93,7 ˚K. Согласно расчету, радиус равен:

n = 6, r = 1690,84 км;

n = 9,14 (Титан), r = 2575,71 км;

n = 16,03 (Венера), r = 4517,35 км;

n = 23,13 (Земля), r = 6518,18 км.

Аналогично, рассчитаем радиус Венеры - расчет будет проводится по углекислому газу и при температуре 737 ˚K, так как атмосфера Венеры состоит из углекислого газа (96,5 %) и азота (3,5 %), а температура поверхности равна 737 ˚K (464 °C). Согласно расчету радиус равен:

n = 6, r = 2265,73 км;

n = 9,14 (Титан), r = 3451,47 км;

n = 16,03 (Венера), r = 6053,28 км;

n = 23,13 (Земля), r = 8734,40 км.

Как видим, мы получили хорошие корреляции.

1. Quora: Dave Kimber's answer to Does a bigger planet command bigger sized life forms? Or smaller ones?
2. Atmosphere of Venus - Wikipedia.
3. Atmosphere of Titan - Wikipedia. Wikipedia (ru).